

# NEUVIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS



193

NICE du 16 au 20 MAI 1983

---

PERFORMANCES DE DIVERS TRAITEMENTS COHERENTS ET NON COHERENTS\*

Marc REVOL - Aline LAMBOURG

SINTRA ALCATEL 1, Avenue A. Briand 94117 ARCUEIL CEDEX

---

## RESUME

L'étude théorique du gain apporté par différents traitements, cohérents ou non cohérents, sur signaux simples ou doubles à grande largeur de bande, permet de comparer ces traitements sous certaines hypothèses concernant le signal, la cible, la propagation et le bruit.

Nous présentons les résultats théoriques pour les traitements "détection - intégration" - "filtrage adapté + post-intégration" - "corrélation écho écho + intégration" - "filtrage adapté + corrélation écho écho + intégration".

## SUMMARY

The theoretical study of gain brought by coherent detection or non coherent detection, applied to one or two closely spaced, large bande width echoes, allows a comparison between these techniques under hypothesis on signal nature, target nature, propagation and noise type.

We presented theoretical results for processings chosen from : "detection-intégration" - "matched filter + integration" "echo-echo correlation + integration" - "matched filter + echo echo correlation + integration".

\* Cette étude a été menée avec le concours de la DRET.



## 1. INTRODUCTION

La littérature abonde en articles concernant le calcul théorique du gain apporté par les différents traitements utilisés en sonar actif (voir bibliographie) :

- traitement non cohérent (détection suivie d'une intégration, que l'on notera DI),
- traitement cohérent sur signal simple (filtrage adapté suivi d'une post-intégration : FA + PI),
- corrélation écho écho sur signal double après traitement cohérent éventuel (EEC + PI ou FA + EEC + PI).

Les calculs sont menés sous certaines hypothèses explicites ou implicites, mais toujours restrictives. Nous présenterons ici les gains théoriques des différents traitements ci-dessus, en précisant bien les hypothèses. On verra déjà une différence dans les conclusions suivant que l'on considère comme signal d'entrée pour apprécier le gain du traitement, le signal émis ou le signal reçu.

Le rôle de la post-intégration est étudié à la fois par rapport au gain en rapport S/B et par rapport au gain en probabilité de fausses alarmes  $P_{FA}$  ou en taux de fausses alarmes  $T_{FA}$ , à probabilité de détection fixée  $P_D$ .

## 2. HYPOTHESES DE CALCUL

On a mené les calculs de gain avec les hypothèses suivantes :

- le milieu introduit une atténuation réelle et constante sur la durée du signal,
- la cible est parfaitement réfléchissante (il y a donc conservation de l'énergie). Elle peut être ponctuelle, à points brillants ou à tranche de bruit,
- sur deux signaux émis successivement et très rapprochés dans le temps, la réponse de la cible est identique,
- le signal reçu est le produit de corrélation du signal émis et de la réponse de la cible, atténué par le milieu, sans autre déformation temporelle ou spectrale. Il n'y a pas d'effet doppler introduit par la cible ou par le porteur,
- le bruit ambiant est stationnaire, blanc, gaussien, centré,
- le bruit réverbéré correspond à une réverbération de volume, statistiquement indépendant du signal, de puissance proportionnelle à l'énergie émise, dans la bande émise,

- les traitements sont réalisés par des filtrages parfaits adaptés à la bande B du signal émis, et des corrélateurs ou des multiplieurs complexes de précision infinie. Aucune erreur n'est introduite par l'échantillonnage. La constante d'intégration  $(T+\theta)$  hors tout de chaque traitement est supérieure ou égale à  $(T+H)$  où T durée du signal émis  
H durée de réponse de la cible  
 $(T+H)$  = durée de l'écho reçu.  
C'est une intégration forte :  $T+\theta \gg \frac{1}{B}$

## 3. DEFINITION DU RAPPORT S/B

\* En entrée, on définit deux rapports S/B :

- un rapport "énergétique"  $\frac{E}{\gamma_0}$  mesurable au niveau des capteurs

$$\frac{E}{\gamma_0} = \frac{\text{énergie du signal reçu}}{\text{densité spectrale de puissance du bruit}}$$

- un rapport de "puissance"  $\left(\frac{S}{B}\right)_e$  mesurable à l'entrée du traitement, après filtrage

$$\left(\frac{S}{B}\right)_e = \frac{\sigma_{SE}}{\sigma_{BE}} = \frac{\text{puissance du signal}}{\text{puissance moyenne du bruit}}$$

\* En sortie, on définit deux rapports S/B :

- un rapport (S/B) théorique :

$$\left(\frac{S}{B}\right)_{th} = \frac{E\{Z_{S+B}\} - E\{Z_B\}}{\sigma_{Z_B}}$$

où  $Z(t)$  est le signal après traitement  
 $E(x)$  est l'espérance mathématique de x  
S présence de signal  
B présence de bruit

- un rapport (S/B) réel :

$$\left(\frac{S}{B}\right)_r = \frac{\text{Max}\{Z_{S+B}\} - \hat{m}_{SB}}{\hat{\sigma}_{Z_B}} \quad (\text{détection sur un maximum})$$

L'écart entre  $\left(\frac{S}{B}\right)_{th}$  et  $\left(\frac{S}{B}\right)_r$  est d'autant plus grand que la loi de probabilité de  $Z(t)$  est étalée ( $\sigma$  élevé), ce qui est le cas lorsque les constantes d'intégration sont faibles. On a calculé que pour un écho d'environ 500 points indépendants ( $BT=500$ ), avec une hypothèse de processus gaussien en tout point de la chaîne de traitement, le gain d'intégration sur toute la durée du signal diffère, suivant que l'on utilise un rapport (S/B) théorique ou un rapport (S/B) réel avant et après intégration, d'environ 14 dB, c'est-à-dire que :

$$20 \log G_{réel} \approx 20 \log G_{th} - 14 \text{ dB.}$$

Lorsque la constante d'intégration est égale à la durée de l'écho, les deux valeurs  $\left(\frac{S}{B}\right)_{th}$  et  $\left(\frac{S}{B}\right)_r$  se confondent, ce qui est le cas des formules du paragraphe 2.3.

PERFORMANCES DE DIVERS TRAITEMENTS COHERENTS ET NON COHERENTS

4. GAINS DE TRAITEMENTS.

Dans la mesure où l'on a supposé la cible parfaitement réfléchissante et la constante d'intégration adaptée à la réponse de la cible, la forme de cette réponse (ponctuelle, à points brillants, à tranche de bruit) n'intervient pas dans les résultats.

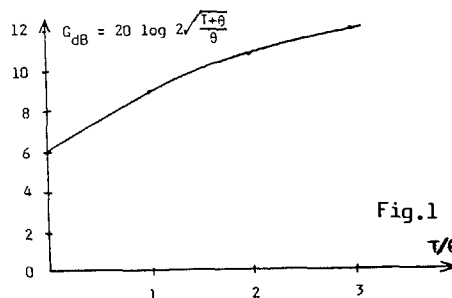
On a considéré deux définitions du gain :  
 - le gain du traitement proprement dit, en évaluant le rapport S/B de sortie en fonction du rapport S/B d'entrée (tableau 1),  
 - le gain obtenu par une émission donnée et un traitement donné, en évaluant le rapport S/B de sortie en fonction du rapport énergétique dans l'eau  $\frac{E}{\gamma_0}$  (tableau 2).

Dans ce cas, les résultats sont différents suivant qu'il s'agit d'un bruit ambiant ou d'un bruit réverbéré tel que  $\frac{E}{\gamma_0} = \frac{1}{k} = \text{Cste}$ . On voit également qu'en cas d'émission double, le niveau d'énergie émise est un paramètre influant en bruit ambiant seulement, et la bande de fréquence des deux signaux (identique ou différente) est un paramètre influant en bruit réverbéré.

TABLEAU 1

Traitement	$\{S/B\}_Z$	Gain p.r. à DI pour $\theta = H$
DI	$(T+H)\sqrt{\frac{\Delta f}{T+\theta}} \left(\frac{S}{B}\right)_E$	0 (référence)
ECC+PI	$(T+H)\sqrt{\frac{2\Delta f}{T+\theta}} \left(\frac{S}{B}\right)_E$	+ 3 dB
FA+PI	$2(T+H)\sqrt{\frac{\Delta f}{\theta}} \left(\frac{S}{B}\right)_E$	$G = 20 \log 2 \frac{T+H}{H}$
FA+ECC+PI	$2(T+H)\sqrt{\frac{2\Delta f}{\theta}} \left(\frac{S}{B}\right)_E$	$G + 3 \text{ dB}$

On constate que les traitements cohérents sont théoriquement bien supérieurs aux traitements non cohérents, d'autant plus que T durée du signal émis est grande devant H durée de réponse de la cible (figure 1).



Parmi les traitements cohérents, celui qui donne dans tous les cas le meilleur gain est la corrélation écho-écho après filtrage adapté, avec deux signaux d'énergie maximale E, émis dans des bandes de fréquences distinctes.

Traitement	Signal émis	Energie émise	$\{S/B\}_Z$		Gain par rapport à DI pour $\theta = H$	
			Bruit ambiant	Bruit réverbéré	Bruit ambiant	Bruit réverbéré
DI	signal seul	E	$\frac{E}{2\gamma_0 \sqrt{\Delta f (T+\theta)}}$	$\frac{1}{k} \sqrt{\frac{\Delta f}{T+\theta}}$	0 (réf.)	0 (réf.)
EEC + PI	signal double même bande de fréquence	$\left. \begin{matrix} \cdot E/\sqrt{2} \\ \cdot R \\ \cdot R/2 \end{matrix} \right\} 2 \text{ fois}$	$\frac{R}{\gamma_0 \sqrt{2\Delta f (T+\theta)}}$	$\frac{1}{k} \sqrt{\frac{\Delta f}{2(T+\theta)}}$	+ 3 dB 0 dB - 3 dB	- 3 dB
	signal double bandes différentes	"	"	$\frac{1}{k} \sqrt{\frac{2\Delta f}{T+\theta}}$	"	+ 3dB
FA + PI	signal seul	E	$\frac{E}{\gamma_0 \sqrt{\Delta f \theta}}$	$\frac{2}{k} \sqrt{\frac{2\Delta f}{T+\theta}}$	$G = 20 \log 2 \sqrt{\frac{T+H}{H}}$	
FA+ECC+PI	signal double même bande de fréquence	$\left. \begin{matrix} \cdot E \\ \cdot E/\sqrt{2} \\ \cdot E/2 \end{matrix} \right\} 2 \text{ fois}$	$\frac{R}{\gamma_0 \sqrt{\Delta f \theta}}$	$\frac{1}{k} \sqrt{\frac{2\Delta f}{\theta}}$	G + 3 dB G G - 3 dB	G - 3dB
	signal double bandes différentes	"	"	$\frac{2}{k} \sqrt{\frac{2\Delta f}{\theta}}$	"	G + 3dB

TABLEAU 2



## 5. INFLUENCE DE LA CONSTANTE D'INTEGRATION

### 5.1. Pertes dues à une mauvaise adaptation de la constante d'intégration

On a étudié l'influence de la constante d'intégration à la fois sur le gain de traitement et sur le taux de fausse alarme  $T_{FA}$  à probabilité de détection fixe  $P_D = 0,5$ .

Les courbes 1 représentent les pertes en rapport S/B lorsque la constante d'intégration  $\theta$  n'est plus adaptée à la durée de réponse de la cible H. En trait plein on a les pertes théoriques liées à la définition théorique du rapport S/B (voir § 3). En trait pointillé on a les pertes "réelles" lorsqu'on détecte sur un maximum pour un signal  $BT \sim 500$ .

On voit que le filtrage adapté est beaucoup plus sensible à la variation de la durée d'intégration que le traitement DI. Si l'on tient compte des pertes "réelles", la constante d'intégration  $\theta = H$  n'est pas forcément optimale pour le traitement DI.

### 5.2. Pertes dues au caractère fluctuant du signal

D'autre part, on a supposé jusqu'ici que l'intégration réalisait un gain en  $\sqrt{N}$  où N est le nombre de points indépendants intégrés. C'est vrai pour un signal dont l'énergie est concentrée dans le temps. Or un écho est un signal fluctuant qui peut être très étalé. On a simulé 2 échos dans du bruit gaussien: un signal rectangle et un signal fluctuant auxquels on a appliqué le traitement DI. Pour le premier, on a réalisé le gain théorique à 2 dB près. Pour le deuxième, l'intégration n'a réalisé aucun gain (courbes 2). On peut donc penser que dans de nombreux cas, surtout lorsque l'écho est long, l'intégration n'apporte pas de gain.

### 5.3. Gain en taux de fausses alarmes réalisé par l'intégration

La probabilité de fausses alarmes  $P_{FA}$  à  $P_D = 0,5$  s'exprime simplement en fonction du rapport S/B, lorsqu'on suppose le processus gaussien. On a

$$P_{FA} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{S_0}^{\infty} \exp(-u^2) du$$

$$\text{avec } S_0 = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{S}{B}\right)_Z$$

On définit d'autre part le taux de fausses alarmes ainsi

$$T_{FA} = \frac{P_{FA}}{B} f_e$$

B = largeur de bande du signal

$f_e$  = fréquence d'échantillonnage

Lorsqu'on intègre n points successifs ( $n < BT$ ), le seuil  $S_0$  est devenu

$$S'_0 = \sqrt{\frac{n}{2}} \left(\frac{S}{B}\right)_Z = \sqrt{n} S_0$$

Les courbes 3 montrent la décroissance de  $P_{FA}$  lorsque n augmente (tant que  $n < BT$ ).

D'autre part la fréquence d'échantillonnage  $f_e$  peut être divisée par  $\frac{n}{2}$ . Le taux de fausses alarmes décroît encore plus vite que  $P_{FA}$  quand n augmente.

On peut donc penser que même si l'intégration après traitement ne réalise aucun gain en rapport S/B, elle permet de diminuer le taux de fausses alarmes.

## 6. CONCLUSION

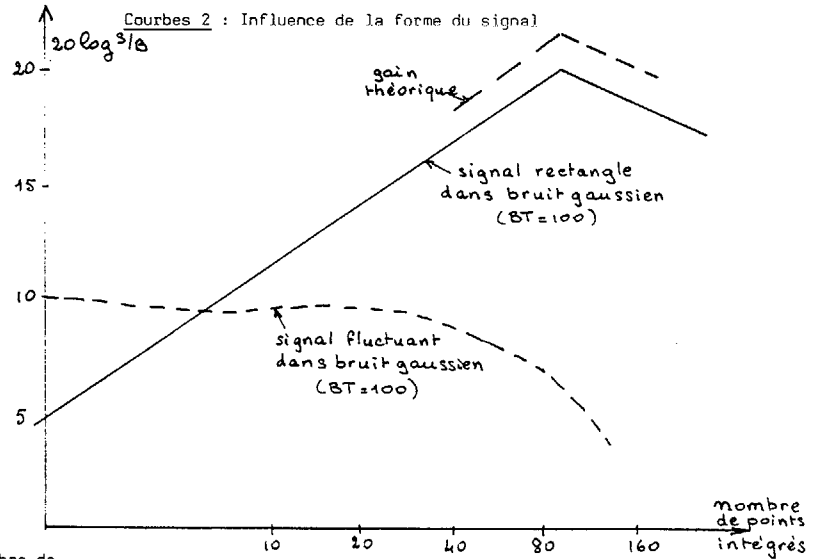
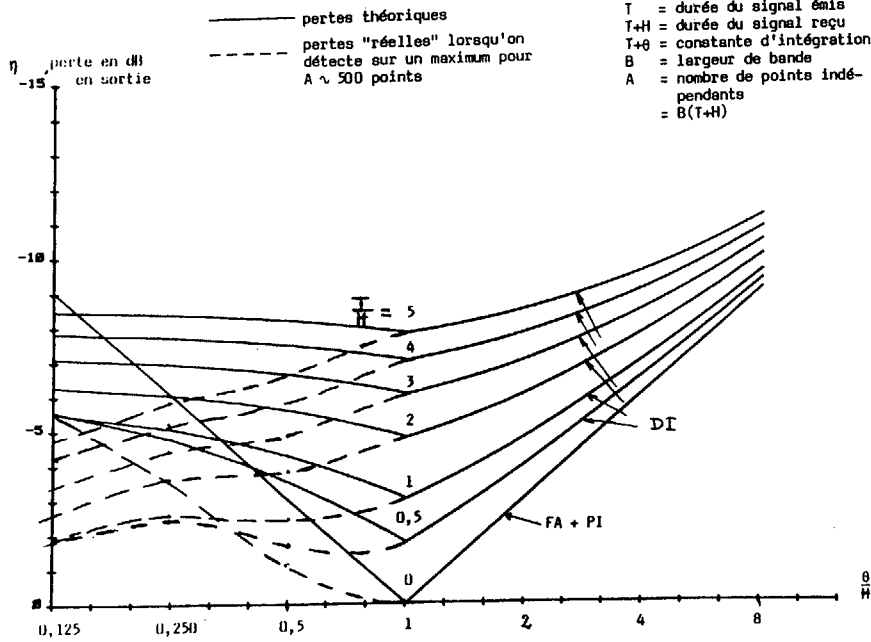
Les résultats théoriques obtenus sous certaines hypothèses restrictives montrent que les traitements cohérents sont supérieurs aux traitements non cohérents. En présence d'une forte réverbération de volume, on a intérêt à envoyer deux signaux dans deux bandes de fréquence distinctes. Par contre, les traitements cohérents sont beaucoup plus sensibles à une dégradation des conditions initiales, telle que la désadaptation de la constante de post-intégration à la durée de l'écho. Le caractère fluctuant de l'écho est une autre raison de perte dans la post-intégration. Celle-ci reste cependant justifiée par la baisse du taux de fausses alarmes qu'elle permet.

## BIBLIOGRAPHIE

- {1} 1963 M. ARQUES 10783 DSM/B  
Probabilité de détection et de fausse alarme d'un signal dans un bruit après une détection quadratique d'enveloppe suivie ou non d'une intégration.
- {2} 1975 M. GIRAUDON EG 75212/DL  
Emploi des signaux FML et FMH. Gain en réception sur bruit et sur réverbération. Tolérance des canaux Doppler.
- {3} 1978 M. CHAPLAIN (document manuscrit)  
Performances en détection quadratique d'enveloppe cohérente et non cohérente FM et FP, en sonar actif. Comparaison au traitement non cohérent.
- {4} 1979 M. GREEN AD A074461  
Echo-Echo correlation
- {5} 1980 M. CHAPLAIN 034924 ET/LD (1er Juillet)  
Performance de détection de différents procédés de traitement du signal.
- {6} 1981 M. CHAPLAIN 036519 ET/LD (17 Mars)  
Rappel sur les performances du traitement cohérent et de la corrélation en sonar actif.

PERFORMANCES DE DIVERS TRAITEMENTS COHERENTS ET NON COHERENTS

**Courbes 1** : Dégradation par rapport au cas optimum  
(cas d'une réponse de cible assimilable à un bruit blanc)



**Courbes 3** : Evolution de  $P_{FA}$  et  $T_{FA}$  en fonction du nombre de points intégrés.

